

Таким чином, широке впровадження анаеробних технологій очистки стічних вод та відходів виноробних підприємств дозволяє очищати стічні води з будь-якою концентрацією забруднюючих речовин, скоротити тривалість очистки, зменшити капітальні витрати на будівництво очисних споруд, одержати біогаз як додаткове джерело енергії та активний мул як добриво для сільського господарства.

#### **Література:**

1. Litaor M.I. Treatment of winery wastewater with aerated cells mobile system / M.I.Litaor, N. Meir-Dinar, B. Castro // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. – 2015. – P. 17-26.
2. Review of Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor Technology: Effect of Different Parameters and Developments for Domestic Wastewater Treatment / [ Daud M. K., Rizvi H., Akram M. F. And other]. - Journal of Chemistry. – 2018. – p. 13.
3. Moletta R. Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion / R. Moletta. - Water Science and Technology. – 2005. – pp. 137-144.

---

## **УДК 628.33**

### **ПОРІВНЯННЯ ПРОЦЕСІВ ANAMMOX ТА ДЕНІТРИФІКАЦІЇ ПРИ ОЧИЩЕННІ СТІЧНИХ ВОД ВІД СПОЛУК АЗОТУ**

*Шановалова Д.Ю., Саблій Л.А.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги 37, Київ, 03056, [dawapovalova@gmail.com](mailto:dawapovalova@gmail.com)*

Надлишок реакційноздатного азоту, що надходить у повітря внаслідок дії багатьох факторів, не тільки негативно впливає на здоров'я людини, він також сприяє забрудненню повітря та води, а також може спричинити руйнування складних екосистем. Щоб уникнути згубного впливу надлишкового азоту на навколишнє середовище, необхідно застосовувати методи очистки стічних вод, які забезпечують видалення сполук азоту. Багато очисних споруд застосовують хімічні речовини для очищення, однак методи біологічного видалення азоту більш виправдані з точки зору екологічності (за рахунок використання живих організмів) та економічності. Тому інтерес до біологічного очищення зростає. Біологічні підходи використовують особливості конкретних груп мікроорганізмів, які беруть участь у циклі азоту, для вилучення активного азоту з реакторних систем шляхом перетворення аміаку на газоподібний азот. Організми, що беруть участь у цьому процесі, включають автотрофні бактерії, що окиснюють аміак, археї, анаеробні бактерії, що окиснюють аміак (анамокс), окиснювачі нітриту [1].

Під час процесу денітрифікації мікроорганізми використовують нітрати замість кисню, щоб отримати енергію для росту та розмноження, і при цьому виділяють ферменти для відновлення нітрату до азоту. Денітрифікація відбувається у декілька послідовних стадій і є складним процесом.

Зазвичай денітрифікація відбувається в анаеробних середовищах з низькою концентрацією розчиненого кисню. У них нітрати ( $\text{NO}_3^-$ ) або нітрити ( $\text{NO}_2^-$ ) можуть бути використані як замітники кінцевого акцептора електронів, яким зазвичай виступає кисень, більш енергетично вигідний акцептор електронів. Денітрифікація також може відбуватися і в аеробних середовищах. За впливу кисню бактерії здатні утилізувати редуктазу оксиду азоту - фермент, який каталізує останню стадію денітрифікації. Аеробна денітрифікація може бути

виявлена в середовищах, де доступні коливальні концентрації кисню та знижений вміст вуглецю. Оптимальні умови існування бактерій-денітрифікаторів:  $T = 25-37^{\circ}C$  і  $pH = 7-8$ , коли концентрація розчиненого кисню становить  $3-5 \text{ мг/дм}^3$ .

Анаммox-процес є альтернативним процесу денітрифікації і є більш вигідним, ураховуючи ряд процесів, що проходять у анаммoxосомі. За протікання даного процесу використовується  $NH_4^+$  та  $NO_2^-$  з творенням газу  $N_2$ , що є нетоксичним і міститься у повітрі (близько 75%) [2].

Бактерії Анаммox мають складну будову, яка поки є недостатньо вивченою. Реакція окиснення азоту відбувається в анаммoxосомі, яка займає більшу частину клітинного об'єму і є "прокаріотичною органелою". Наразі виявлено 10 видів бактерій Анаммox, які поділяються на 5 родів: *Kuenenia*, *Brocadia*, *Anammoxoglobus*, *Jettenia*, *Scalindua* [3].

Оскільки бактерії Анаммox є облигатними анаеробами, на відміну від бактерій-денітрифікаторів, процес оборотно інгібується концентрацією розчиненого кисню [4]. На метаболізм Анаммox бактерій впливає також концентрація нітритів. Незважаючи на те, що нітрит є субстратом для бактерій Анаммox, його концентрація може сповільнити або при більш високих концентраціях повністю (але оборотно) зупинити метаболізм клітин. На відміну від багатьох денітрифікуючих бактерій, Анаммox бактерії не потребують у якості субстрату метанолу. На основі досліджень, проведених із культурами Анаммox зі стічних вод, метанол був визначений як специфічний інгібітор процесу Анаммox. Додавання метанолу до середовища призвело до повної та незворотної втрати активності при концентраціях  $\geq 0,5 \text{ мМ}$  [5].

Таким чином, бактерії Анаммox удосконалюють процес очищення стічних вод (СВ) від неорганічних сполук азоту, оскільки не потребують для метаболізму присутності субстрату карбону - метанолу, який потрібно подавати у реактор, а також потребують приблизно вдвічі менше витрат кисню на окиснення амонійного азоту, оскільки необхідний для реакції Анаммox нітрит утворюється на першій стадії нітрифікації. Перевагою процесу анаеробного окиснення аміаку є те, що всі стадії перетворення протікають у одній клітині, у порівнянні з традиційними процесами нітрифікації-денітрифікації, проте забезпечення умов для підтримання життєдіяльності бактерій є складним і високовартісним. Найкращим методом очищення СВ від сполук азоту є поєднання процесу денітрифікації та Анаммox.

1. Holmes D. Nitrogen cycling during wastewater treatment [Електронний ресурс] / D. Holmes, Y. Dang, J. Smith. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.10.003>.

2. Reimann J. Metal Enzymes in "Impossible" Microorganisms Catalyzing the Anaerobic Oxidation of Ammonium and Methane [Електронний ресурс] / J. Reimann, M. Jetten, J. Keltjens. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-12415-5\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-12415-5_7).

3. Jetten, M. S. Biochemistry and molecular biology of anammox bacteria / Jetten, M. S., 2009.

4. Szatkowska B. The Anammox process for nitrogen removal from wastewater – achievements and future challenges [Електронний ресурс] / B. Szatkowska, B. Paulsruud // 02. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2014\\_902654.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2014_902654.pdf).

5. Güven, D., Dapena A., Kartal B., Schmid M. C., Jetten M., 2005 Propionate oxidation by and methanol inhibition of anaerobic ammonium-oxidizing bacteria. Appl. Environ. Microbiol., 71 (2), 1066-1071